

## ВЛИЯНИЕ РЕАКТОРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ГЕЛИЕВОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ НА ПИННИНГ ФЛЮКСОИДОВ АБРИКОСОВА В МОНОКРИСТАЛЛЕ НИОБИЯ

Э. Л. Андроникашвили, С. М. Ашимов, Дж. С. Цакадзе

Известно, что флюксониды Абрикосова закрепляются на различных дефектах кристаллической решетки. Важную роль в этом закреплении – пиннинге играют дислокации. Величина силы пиннинга оценивается в работах [1 – 3]. Влияние на пиннинг плотности дислокаций оценено в теоретической работе Барамидзе и Саралидзе [4], а влияние поверхностных дефектов кристалла на закрепление магнитных вихрей в экспериментальном исследовании авторов настоящей статьи, проведенном совместно с Д. Г. Чигвинадзе и группой из Оксфорда [5, 6]. Влияние низкотемпературного нейтронного облучения на диссипативные явления в смешанном состоянии изучались Андроникашвили и др. [7].

В данной работе при помощи бестоковой методики, разработанной в Институте физики Академии наук Грузинской ССР (подробно описанной в уже цитированных работах [5, 6]) изучено влияние нейтронного облучения на силу пиннинга в монокристалле ниобия. Облучение велось при  $4,2^\circ\text{K}$ . Цилиндрические образцы диаметром  $6\text{ мм}$  и  $l = 5\text{ мм}$  изготавливались электроэрозионным способом из первичного монокристалла, полученного в Институте металлофизики и чистых металлов (г. Дрезден, ГДР). Радиоактивационный анализ показал наличие примеси  $\sim 10^{-3}$  ат. % Ta, а также Na, Cu, Ag, Zn, As, Sb в количестве не превышающем  $\sim 10^{-6}$  ат. %.

Измерения магнитного момента при температуре  $4,2^\circ\text{K}$  дали  $H_{c1} = 650\text{ э}$ , а  $H_{c2} \approx 3200\text{ э}$ .

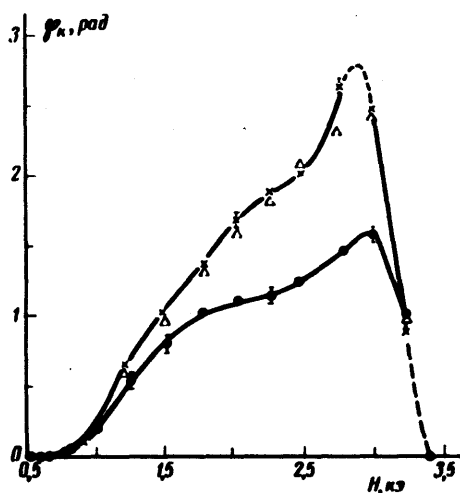
Образец, подвешенный на тонкой, упругой нити, соединенной с крутящей головкой, помещался в поперечном магнитном поле. Угол поворота крутящей головки  $\phi_1$  измеряется с точностью  $\Delta\phi_1 = \pm 4,6 \cdot 10^{-3}\text{ рад}$ , а поворот  $\phi_2$  образца с точностью  $\Delta\phi_2 = \pm 4 \cdot 10^{-4}\text{ рад}$ . Скорость вращения крутящей головки равнялась  $7 \cdot 10^{-3}\text{ рад} \cdot \text{сек}^{-1}$ .

Если при температуре образца  $T > T_k$  привести во вращение крутящую головку, измеряя  $\phi_2$ , как функцию от  $\phi_1$ , то независимо от приложенного магнитного поля, образец равномерно вращается за головкой с определенным отставанием.

При  $T < T_k$  для полей  $0 < H < H_{c1}$ , картина аналогична нормальному состоянию. Когда же магнитное поле  $H_{c1} < H < H_{c2}$ , то образец не следует за вращающейся головкой вплоть до определенного критического значения угла  $\phi_k$  [5, 6]. Неподвижность образца, находящегося в смешанном состоянии, помещенного в магнитное поле, объясняется силой пиннинга  $F_p$ , которая закрепляет флюксониды Абрикосова на неоднородностях кристаллической решетки. Только при  $\phi_1 > \phi_k$ , момент сил, приложенный к образцу, способен повернуть его относительно

вихрей, ориентированных вдоль магнитного поля. Таким образом угол  $\phi_k$  является мерой силы пиннинга.

Критический угол  $\phi_k$  зависит при данной температуре от внешнего магнитного поля  $H$ . Рис. 1, на котором приведены результаты измерений при температуре  $4,2^\circ\text{K}$ , точками обозначены экспериментально наблюдаемые значения  $\phi_k$  до облучения. Начиная с  $H_{c1}$ ,  $\phi_k$  растет, достигает максимума и при  $\sim H_{c2}$  резко падает до нуля.



Зависимость критического угла  $\phi_k$  от внешнего магнитного поля  $H$  при  $T = 4,2^\circ\text{K}$ :  $\bullet$  — до облучения,  $\times$  — после облучения при  $T = 4,2^\circ\text{K}$  быстрыми нейтронами дозой  $3,5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ ,  $\Delta$  — после отдыха образца в течение 80 часов при  $T^\circ = 100^\circ\text{K}$

Облучение при  $T = 4,2^\circ\text{K}$  быстрыми нейтронами дозы  $3,5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$  увеличивает максимальное значение  $\phi_k$  почти на 75%, как это обозначено на рисунке крестиками.

При обсуждении этих результатов следует иметь в виду, что такая малая доза облучения не приводит к образованию кластеров точечных дефектов, которые могли бы служить самостоятельными пиннинг-центрами. Действительно, в работе [8] в которой изучалось влияние нейтронного облучения при  $50^\circ\text{C}$  на монокристаллический ниобий, было показано, что даже облучение дозой  $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$  не приводит к образованию дефектов с размерами сопоставимыми с размерами вихрей. Основной тип дефектов в этом случае представлен петлями дислокаций малых размеров порядка  $30 - 170 \text{ \AA}$ . С другой стороны известно [9, 10], что максимальная сила пиннинга ожидается в условиях, когда размеры пиннинг-центров  $\rho \sim \xi$ , где  $\xi$  — длина когерентности.

Очевидно, в нашем случае, в результате низкотемпературного нейтронного облучения дозой  $3,5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ , рост  $\phi_k$  происходит из-за закрепления уже имевшихся в образце дислокаций вновь образованными точечными дефектами. В свою очередь дислокации являются пиннинг-центрами для вихрей.

Выдержка образца в течение 80 часов при  $T = 100^\circ\text{K}$  (соответствующие значения обозначены треугольниками) не снимает эффекта облучения.

Авторы выражают благодарность Л.М. Мосулишвили, в лаборатории которого проведен радиоактивационный анализ состава нашего образца.

Авторы благодарят участников семинара по физике низких температур за полезные обсуждения, а также Н.Л.Недзеляк за помощь при проведении эксперимента.

Институт физики  
Академии наук Грузинской ССР

Поступила в редакцию  
19 июля 1971 г.

### Литература

- [ 1 ] W.W.Webb. Phys. Rev. Lett., 11, 191, 1963.
  - [ 2 ] E.J.Kramer, C.L.Bauer. Phys. Mag., 15, 1189, 1967.
  - [ 3 ] V.Krammerer. Phys. Stat. Sol., 34, 81, 1969.
  - [ 4 ] Г.А.Барамидзе, З.К.Саралидзе. Письма в ЖЭТФ, 12, 263, 1970.
  - [ 5 ] Э.Л.Андроникашвили, Дж.С.Пакадзе, Дж.Г.Чигвинадзе, К.Мендельсон, Р.М.Керр, Дж.Лоуелл. Сообщения Академии наук Грузинской ССР, 54, №2, 313, 1969.
  - [ 6 ] E.L.Andronikashvili, J.G.Chigvinadze, R.M.Kerr, J.Lowell, K.Mendelssohn, J.S.Tsakadze. Cryogenics. April, 1969.
  - [ 7 ] Э.Л.Андроникашвили, С.М.Ашимов, Дж.С.Пакадзе, Дж.Г.Чигвинадзе. ЖЭТФ, 55, 775, 1968.
  - [ 8 ] R.P.Tucher, S.M.Ohr. Phys. Mag., 16, 643, 1967.
  - [ 9 ] T.D.Livingston. Rev. Mod. Phys., 36, 54, 1964.
  - [ 10 ] А.Немоз. Материалы V (советско-французского) коллоквиума. Тбилиси, 1969.
-